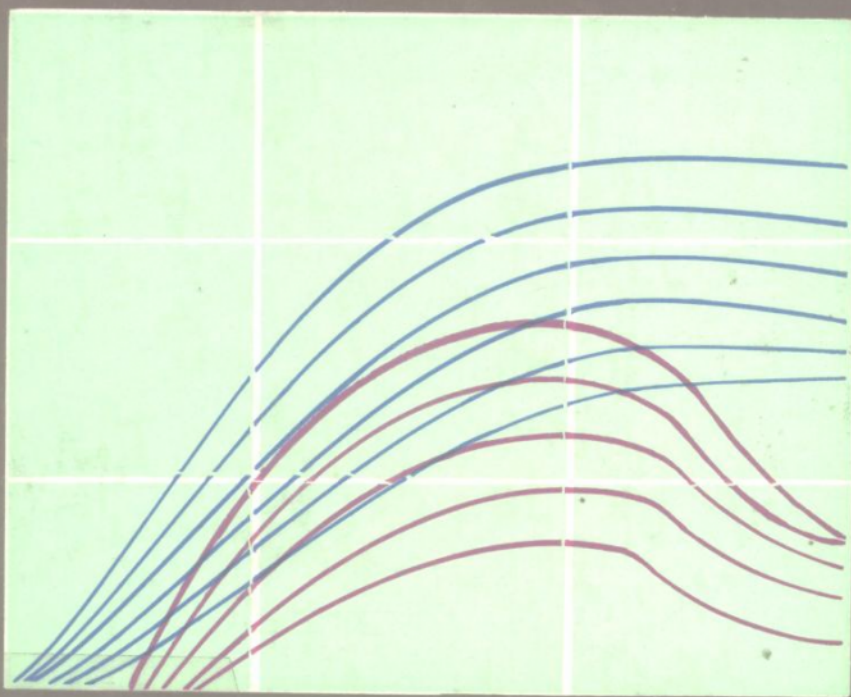




试井手册

下

《试井手册》编写组 编



石油工业出版社

069873

试 井 手 册

下

《试井手册》编写组 编



石 油 工 业 出 版 社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

这本《试井手册》是我国第一部试井方面的专业工具书,全书分上下两册。上册包括:试井设备及工艺,下册包括:试井设计、试井分析、地层测试、试井应用实例和试井解释软件。全书内容系统、齐全、实用方便。

本书系属下册,系统介绍了试井设计、试井分析方法的基本原理、使用条件、应用实例和地层测试技术,介绍了国内常用的试井解释软件,并阐述了各种软件的优缺点。

本书可供从事试井、试油、采油、油藏工程、地层测试方面工作的工程技术人员、工人及干部使用和参考,也可供大专院校有关师生参考。



试 井 手 册 下

《试井手册》编写组 编

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版

中国石油报社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 $45\frac{3}{4}$ 印张 2 插页 1138 千字 印 1—10.000

1992 年 7 月北京第 1 版 1992 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0611-1/TE·582

定价: 26.30 元

《试井手册》编委会名单

主 任: 李虞庚

副主任: 谭文彬 童宪章 秦同洛 蒋其恺 王乃举

委 员: (按姓氏笔划为序)

王化邦 叶 荣 叶敬东 庄惠农 邓志学 吕德本 刘能强
沙白坚 余守德 吴起林 明朝华 苗红军 杨通荆 陈保国
陈永生 陈德华 钟松定 姚振年 高锡伍 徐锡良 钟持泽
谢兴礼

主 编: 李虞庚

副主编: 姚振年 钟松定 吴起林 刘能强 庄惠农

编写及执笔人员

总 论: 姚振年

第一章: 刘金城 陈德华 吴起林 刘明汉 金 达

第二章: 庄惠农 沈鑫贤 孙学成

第三章: 吴起林

第四章: 钟松定 姚振年 张家祥

第五章: 胡应华 谢兴礼

第六章: 刘能强 徐锡良

第七章: 谢兴礼 刘能强 黄大权

第八章: 钟持泽 陈玉宝 钟松定

第九章: 刘启生 张继恒 钟松定

第十章: 成盛景 刘能强 刘冠南

第十一章: 程金良 徐锡良 胡 坚 范新民

第十二章: 陈保国

第十三章: 陈钦雷 翟云芳 蒋沛然 张义堂

第十四章: 吴起林 王希权 庄惠农 钟孚勳

附 录: 钟松定

参加编写人员

袁愈久 王耀祖 江志远 蒋惠仁 赵敏珠 张祥洪
原春华 易京兵 曹钧合 齐淑清

审定人员名单

童宪章 秦同洛 刘焯宁 袁庆丰 高锡伍 余守德
甄 鹏 孔祥言 李 允 吴应熙 明朝华 叶敬东

目 录

第二篇 试井原理、设计和分析方法	(1)
第四章 试井设计	(1)
第一节 稳定试井设计	(2)
第二节 不稳定试井设计	(3)
一、试井目的	(4)
二、试井方式选择	(4)
(一) 单井试井 (表 4-4)	(4)
(二) 多井试井 (表 4-5)	(5)
(三) 地层测试 (表 4-6)	(5)
三、测试井基本资料	(6)
四、设计计算	(6)
(一) 设计计算所需数据	(6)
(二) 设计计算方法	(7)
五、试井设计实施要求	(9)
六、测试资料和分析要求	(9)
(一) 测试资料要求	(9)
(二) 资料分析要求	(10)
(三) 分析报告要求	(10)
第三节 不稳定试井设计举例	(11)
一、压力恢复试井设计	(11)
(一) 已知地层渗透率和表皮系数的计算实例	(11)
(二) 未知地层渗透率和表皮系数的设计举例	(14)
二、探边试井设计	(15)
(一) 已知地层渗透率和表皮系数的计算实例	(15)
(二) 未知地层渗透率和表皮系数的设计计算方法	(17)
三、干扰试井设计	(17)
四、脉冲试井设计	(18)
(一) 设计参数预选	(18)
(二) 设计计算 (有关公式在第七章介绍)	(19)
五、垂直脉冲试井设计	(20)

第五章 稳定试井分析	(22)
第一节 稳定试井原理和测试方法	(22)
一、原理	(22)
二、测试方法	(22)
(一) 确定工作制度	(22)
(二) 一般测试程序	(22)
第二节 试井曲线	(23)
一、定义	(23)
二、绘制试井曲线时地层压力的处理	(23)
(一) 使用同一个地层压力	(23)
(二) 使用不同的地层压力	(23)
三、指示曲线类型	(23)
(一) 直线型 (图 5-1 曲线 I)	(23)
(二) 曲线型 (图 5-1 曲线 II)	(23)
(三) 混合型 (图 5-1 曲线 III)	(24)
(四) 异常型 (图 5-1 曲线 IV)	(24)
第三节 单相流稳定试井分析	(24)
一、线性产能方程及其确定	(24)
(一) 线性产能方程	(24)
(二) 线性产能方程的确定	(24)
二、指数式产能方程及其确定	(24)
(一) 指数式产能方程	(24)
(二) 系数 C 、 n 的确定	(25)
三、二项式产能方程及其确定	(25)
四、单相流稳定试井资料解释	(26)
(一) 解释步骤和方法	(26)
(二) 计算实例	(29)
第四节 油气两相流稳定试井分析方法	(32)
一、地层压力低于饱和压力 ($p_r < p_b$) 时的稳定试井分析方法	(32)
(一) 沃其尔 (Vogel) 方程	(32)
(二) 指数式产能方程	(32)
二、 $p_{wf} \leq p_b$ ($p_r > p_b$) 时的稳定试井分析方法	(34)
三、资料解释实例	(34)
第五节 裂缝性油藏稳定试井	(38)
一、分析方法	(38)

二、计算实例	(38)
第六章 不稳定试井分析	(40)
第一节 不稳定试井的原理和有关概念	(40)
一、数学模型和基本方程	(40)
(一) 均质油藏中的渗流基本微分方程	(40)
二、试井过程中的物理现象和有关概念	(44)
(一) 井筒储存效应	(44)
(二) 表皮效应	(46)
(三) 探测半径 r_1	(48)
(四) 不稳定流动、拟稳定流动和稳定流动	(48)
(五) 叠加原理	(49)
第二节 常规试井分析方法	(51)
一、压降试井	(51)
(一) 等产量压降试井	(51)
(二) 变产量压降试井	(53)
(三) 两产量试井	(55)
(四) 探边测试	(57)
二、压力恢复试井	(61)
(一) 等产量恢复试井	(61)
(二) 变产量恢复试井	(71)
第三节 图版拟合解释方法	(72)
一、图版概念和拟合原理	(72)
二、解释图版及其应用	(73)
(一) 雷米 (Ramey) 解释图版	(73)
(二) 厄洛赫 (Earlougher) 解释图版	(79)
(三) 麦金利 (Mckinley) 解释图版	(82)
(四) 格林加坦 (Gringarten) 解释图版	(86)
(五) 均质油藏中垂直裂缝井的解释图版	(94)
(六) 布德 (Bourdet) 压力导数解释图版	(99)
(七) 复合油藏解释图版	(105)
(八) 均质油藏中水平裂缝井解释图版	(109)
第四节 不稳定试井资料解释	(114)
一、诊断曲线和特征直线	(114)
(一) 诊断曲线	(114)
(二) 特征直线	(114)

(三) 各种诊断曲线、特征直线及其应用	(114)
二、压降试井的分析	(119)
(一) 初拟合	(119)
(二) 特征直线分析	(119)
(三) 终拟合	(120)
(四) 一致性检验	(120)
(五) 进一步调整 $C_D e^{2s}$ 值	(120)
(六) 历史拟合	(121)
(七) 例 6-6 用表 6-6 (例 6-1) 的压降数据进行压降分析	(122)
三、压力恢复试井分析	(126)
(一) 压力恢复与压降的异同	(126)
(二) 压力恢复分析的步骤	(127)
(三) 压力恢复资料的校正处理	(130)
(四) 例 6-7	(131)
(五) 双重孔隙介质油藏试井分析	(135)
(六) 多层油藏试井分析	(143)
(七) 垂直裂缝井试井分析	(144)
四、典型实测曲线举例	(150)
第七章 多井试井	(156)
第一节 干扰试井	(156)
一、方法和用途	(156)
(一) 概念	(156)
(二) 测试方法	(156)
(三) 干扰试井的用途	(156)
二、均质油藏干扰试井资料解释	(157)
(一) 基本方程	(157)
(二) 极值点法	(158)
(三) 图版拟合法	(159)
(四) 半对数分析法	(160)
第二节 双重孔隙介质油藏干扰试井解释	(160)
一、格林加坦图版及其应用	(160)
(一) 介质间拟稳定流动模型解释图版	(160)
(二) 介质间不稳定流动模型的解释图版	(162)
二、朱-庄解释图版	(163)
(一) 图版说明	(163)

(二) 解释步骤	(163)
第三节 脉冲试井	(166)
一、脉冲试井术语	(166)
二、脉冲试井资料解释方法	(167)
(一) 图解法	(167)
(二) 经验法	(172)
(三) 例 7-2	(173)
第四节 垂直渗透率试井	(175)
一、垂直渗透率试井的井身结构	(175)
二、垂向脉冲试井	(176)
(一) 术语	(176)
(二) 分析方法	(176)
(三) 例 7-3	(181)
(四) 例 7-4	(182)
(五) 例 7-5	(183)
三、垂向干扰试井	(185)
(一) 资料解释	(185)
(二) 例 7-6	(186)
第八章 非自喷试井分析	(187)
第一节 有杆泵抽油井试井方法及分析	(187)
一、概述	(187)
二、有杆泵抽油井测试系统和测压方法	(187)
(一) 测试系统 (见第三章)	(187)
(二) 测压方法	(187)
三、稳定排液法进行系统试井	(189)
(一) 机理	(189)
(二) 测试方法	(189)
(三) 试井资料的分析	(189)
(四) 计算举例 (例 8-1)	(192)
四、不稳定试井分析法	(193)
(一) 计算静压的经验方法	(194)
(二) 压力恢复曲线图例简析	(195)
第二节 抽油井的液面探测及其分析	(198)
一、探测液面的一般方法	(198)
(一) 回声法探测液面	(198)

(二) 井下压力计探测液面	(206)
二、利用液面资料计算井底压力	(208)
(一) 平均密度法求井下流动压力	(208)
(二) 用实验值计算井底压力	(208)
(三) 修正的“S”曲线法	(211)
第三节 有杆泵工况分析	(214)
一、示功图分析	(214)
(一) 理论示功图及其分析	(214)
(二) 惯性和振动载荷对理论示功图的影响	(218)
二、典型示功图举例	(219)
(一) 深井泵工作正常时的示功图 (图 8-34a、b)	(221)
(二) 供液能力差和气体影响的示功图 (图 8-34c、d、e、f)	(221)
(三) 漏失对示功图的影响	(222)
(四) 油井连抽带喷时的示功图	(222)
(五) 抽油杆断脱时的示功图	(223)
(六) 油管漏失时的示功图	(223)
(七) 活塞遇卡时的示功图	(223)
(八) 油井出砂对示功图的影响	(223)
(九) 油井结蜡对示功图的影响	(224)
(十) 管式泵活塞位置对示功图的影响	(224)
三、计算机诊断技术分析泵的工况	(224)
(一) 诊断原理	(224)
(二) 泵况分析图例	(226)
四、测压卡片的工况分析	(226)
(一) 标准测压记录卡片	(226)
(二) 异常形状的压力卡片分析举例	(227)
第四节 潜油电泵抽油井试井方法及分析	(228)
一、测试系统的测压方法	(229)
(一) 常用的几种测压方法	(229)
(二) 泵顶测压的一般要求	(229)
二、试井分析方法	(230)
(一) 不稳定试井方法	(230)
(二) 稳定试井	(230)
三、潜油电泵抽油井的工况分析	(233)
(一) 测试与机组分析原则	(233)

(二) 电泵的电流记录图分析	(233)
第五节 气举采油井的试井方法及分析	(238)
一、压力和井温的测试特点	(239)
(一) 测压特点	(239)
(二) 气举液面测试	(239)
(三) 气举采油井的流动温度测量特点	(240)
二、稳定试井分析	(240)
(一) 测试原理	(240)
(二) 测试方法	(241)
(三) 稳定试井资料分析	(242)
(四) 计算实例	(243)
三、气举系统的工况分析	(244)
第六节 水力活塞泵生产井的试井方法及分析	(246)
一、试井系统和测压特点	(246)
(一) 试井系统	(248)
(二) 测压特点	(248)
(三) 设计预检	(248)
二、测压记录卡片	(249)
三、系统试井方法及分析	(252)
(一) 地面流程和试井原则	(252)
(二) 测试方法	(252)
第九章 注水井试井分析	(258)
第一节 注水井稳定试井	(258)
一、测全井指示曲线	(258)
(一) 测试方法	(258)
(二) 全井指示曲线的类型	(258)
二、测分层指示曲线	(259)
(一) 测试方法	(259)
(二) 资料的整理与解释	(259)
第二节 注水井的不稳定试井	(264)
一、注入试井	(265)
(一) 试井方法	(265)
(二) 分析方法	(265)
(三) 计算实例	(266)
二、注水井的落差试井	(267)

(一) 只含液体、流度比为 1 条件的落差试井	(267)
(二) 流度比不等于 1	(270)
第十章 气井试井分析	(276)
第一节 真实气体的拟压力及其计算方法	(276)
一、拟压力计算方法	(276)
二、拟压力的简化	(276)
(一) $\psi(p)$ 简化为 p^2	(276)
(二) $\psi(p)$ 简化为 p	(278)
第二节 产能试井及其资料解释	(279)
一、回压试井	(279)
(一) 测试方法提要	(279)
(二) 指数式产能方程	(279)
(三) 二项式产能方程	(285)
(四) IPR 曲线及其应用	(290)
(五) 凝析油的折算处理	(291)
二、等时试井	(293)
(一) 测试方法提要	(293)
(二) 确定指数式产能方程及解释步骤	(293)
(三) 确定二项式产能方程及解释步骤	(293)
三、改进的等时试井	(298)
(一) 测试方法提要	(298)
(二) 确定产能方程及解释方法	(298)
四、一点法试井	(301)
(一) 测试方法提要	(301)
(二) 产能曲线的绘制	(301)
(三) 一点法试井无阻流量经验公式	(301)
五、用井口压力进行产能分析	(302)
六、常见产能曲线的类型	(303)
第三节 不稳定试井资料解释	(306)
一、气井与油井试井资料解释的异同	(306)
二、单相气体等流量试井解释	(306)
(一) 压降试井解释	(306)
(二) 压力恢复试井解释	(320)
三、多变流量试井解释	(330)
(一) 压降试井解释	(330)

(二) 压力恢复试井解释	(331)
四、平均气藏压力的确定方法	(335)
(一) MBH 法	(335)
(二) 晚期资料作图法 (Smith 法)	(335)
(三) 利用稳定产能方程求气藏平均压力	(336)
第四节 双重孔隙介质气藏气井压力曲线特征	(336)
一、双重孔隙介质气藏气井压力曲线的基本形态	(336)
二、实测压力曲线的类型	(336)
三、外推地层压力的特征	(338)
四、试井资料解释	(339)
第五节 气井井底压力计算	(339)
一、平均温度与平均偏差系数法	(339)
(一) 单相气体井底静压力计算	(339)
(二) 单相气体井底流动压力计算	(342)
二、积分法	(346)
(一) 单相气体井底静止压力计算	(346)
(二) 单相气体井底流动压力的计算	(352)
第三篇 地层测试	(354)
第十一章 钻柱测试	(354)
第一节 钻柱测试基本原理及分类	(355)
一、基本原理	(355)
二、钻柱测试的分类及典型管柱	(355)
(一) 裸眼井测试	(355)
(二) 套管井测试	(356)
(三) 海上浮船测试	(358)
(四) 联合作业测试	(358)
(五) 大斜度井和水平井测试	(359)
第二节 钻柱测试设计	(361)
一、测试委托书	(362)
二、测试施工设计的主要内容	(363)
三、测试设计的重要因素	(363)
(一) 测试层位的选择	(363)
(二) 选择测试管柱的基本原则	(363)
(三) 测试类型的选择	(364)
(四) 测试时间的确定	(365)

(五) 开关井时间的分配	(366)
(六) 测试压差及测试垫的确定	(366)
(七) 坐封位置的要求	(368)
第三节 常规测试工具及工艺	(369)
一、MFE 测试工具及工艺	(369)
(一) 用途	(369)
(二) 结构原理	(369)
(三) MFE 系统各部件结构功能及技术规范	(372)
(四) MFE 常用测试管柱	(391)
(五) 测试工艺	(396)
二、HST 测试工具及工艺	(406)
(一) 用途	(406)
(二) 结构原理	(407)
(三) HST 测试器	(407)
(四) 测试管柱	(416)
第四节 压控测试工具及工艺	(418)
一、APR 测试工具	(419)
(一) APR 工具测试管柱	(419)
(二) LPR-N 测试阀	(419)
(三) APR-A 反循环阀	(434)
(四) APR-M ₂ 反循环阀	(435)
(五) BJ 震击器	(439)
(六) 全通径液压循环阀	(440)
(七) 全通径放样阀	(441)
(八) 全通径伸缩接头	(442)
(九) RTTS 反循环阀	(443)
(十) RTTS 安全接头	(443)
(十一) RTTS 封隔器	(444)
(十二) 全通径压力计托筒	(444)
二、PCT 测试工具	(444)
(一) PCT 工具测试管柱	(444)
(二) PCT 测试器	(445)
(三) HRT 液压工具	(447)
(四) 伸缩接头和安全阀	(448)
(五) 泵压式反循环阀	(448)

三、压控工具测试工艺	(450)
(一) 测试前的准备	(450)
(二) 现场施工	(450)
(三) 安全注意事项	(451)
第五节 膨胀式测试工具	(451)
一、用途	(451)
二、结构和工作原理	(451)
(一) 结构	(451)
(二) 膨胀式跨隔测试工具测试原理 (图 11-73)	(451)
三、膨胀式测试工具各部件的功能及规范	(453)
(一) 液力开关工具	(453)
(二) 正控制取样器	(455)
(三) B 型膨胀泵	(455)
(四) 滤网接头	(458)
(五) 上封隔器	(458)
(六) 下封隔器	(459)
(七) 孔眼组合接头	(459)
(八) 阻力弹簧器	(459)
(九) 旁通管	(466)
(十) 调距钻铤	(466)
(十一) 外压力计托筒	(466)
四、测试管柱	(467)
(一) 双封隔器测试管柱 (图 11-72)	(467)
(二) 单封隔器测试管柱 (图 11-87)	(467)
(三) 152mm 双封隔器测试管柱 (图 11-88)	(467)
(四) 127mm 膨胀式双封隔器测试管柱 (图 11-89)	(467)
(五) 152mm 膨胀式单封隔器测试管柱 (图 11-90)	(467)
五、测试工艺	(467)
(一) 膨胀泵旋转时间的计算	(467)
(二) 膨胀式双封隔器测试工具的操作	(469)
(三) 膨胀式单封隔器测试工具的操作	(478)
第六节 测试联合作业工具	(479)
一、油管输送射孔—测试工具	(479)
(一) 油管输送射孔—测试管柱	(479)
(二) 油管输送射孔枪	(479)

(三) 点火系统	(480)
(四) 减震器和其它辅助件	(483)
(五) 油管输送射孔一测试联合作业实例	(485)
二、纳维 (Navi) 泵抽液一测试工具	(486)
(一) 纳维泵抽液一测试的用途	(486)
(二) 纳维泵的结构和工作原理	(486)
(三) 纳维泵的技术规范 (表 11-81)	(486)
(四) 纳维泵测试管柱	(488)
(五) 纳维泵测试步骤及要求	(488)
(六) 纳维泵测试实例	(489)
第七节 地面控制装置	(490)
一、MFE 地面控制装置	(490)
(一) 各总成结构及用途	(490)
(二) 各总成的技术规范	(494)
二、哈里伯顿 S 型单测试树地面控制装置	(494)
三、地面控制装置试验要求	(497)
(一) 试验压力的规定	(497)
(二) 试压程序	(497)
(三) 检查试压周期	(497)
四、地面控制设备安全操作规定	(497)
第八节 地面测试	(498)
一、地面测试流程	(498)
二、地面测试设备结构及性能	(499)
(一) 测试井口 (采油树)	(499)
(二) 数据头管汇	(502)
(三) 油嘴管汇	(503)
(四) 加热器	(506)
(五) 三相分离器	(507)
(六) 计量管汇及仪表	(510)
(七) 计量罐	(511)
(八) 输送泵	(511)
(九) 燃烧器	(514)
(十) 井场试验室	(514)
三、地面测试工艺	(514)
(一) 测试前的准备	(514)